

# МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ НА ПОСЕВ С УЧЕТОМ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РАБОТ И РАЗМЕРОВ ПЛОЩАДЕЙ

## A MODEL FOR DETERMINING THE OPERATING COSTS OF MACHINE-TRACTOR UNITS FOR SOWING, TAKING INTO ACCOUNT THE DURATION OF WORK AND THE SIZE OF THE AREA

**А.В. СТАРЦЕВ**<sup>1</sup>, д.т.н.  
**Т.Е. АЛУШКИН**<sup>2</sup>, к.т.н.  
**С.В. РОМАНОВ**<sup>3</sup>, к.т.н.  
**И.И. СТОРОЖЕВ**<sup>3</sup>, к.т.н.

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ, Троицк, Челябинская обл., Россия

<sup>2</sup> Томский сельскохозяйственный институт – филиал ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Томск, Россия

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, Тюмень, Россия, timofey.alushkin@gmail.com

**A.V. STARCEV**<sup>1</sup>, DSc in Engineering  
**T.E. ALUSHKIN**<sup>2</sup>, PhD in Engineering  
**S.V. ROMANOV**<sup>3</sup>, PhD in Engineering  
**I.I. STOROZHEV**<sup>3</sup>, PhD in Engineering

<sup>1</sup> South Ural State Agrarian University, Troick, Chelyabinskaya obl., Russia

<sup>2</sup> Tomsk Agricultural Institute, Branch of Novosibirsk State Agrarian University, Tomsk, Russia

<sup>3</sup> State Agrarian University of Transural region, Tyumen', Russia, timofey.alushkin@gmail.com

В статье представлен анализ влияния производительности машинно-тракторных агрегатов на продолжительность проведения технологических работ в растениеводстве. Представлены результаты опроса среди специалистов сельскохозяйственных организаций Томской области, указывающих на существенное влияние технического фактора в целом на производительность техники (33,9 %). Дана интерпретация полученных результатов опроса, и на основе этих данных сформулировано обоснование для создания методики оптимизации технологических параметров посевных агрегатов.

Целью работы является разработка методики оптимизации технологических параметров посевных агрегатов, составленных на базе разных моделей тракторов по критерию минимума эксплуатационных затрат. Научной новизной является введение показателя «Удельные эксплуатационные затраты посевного агрегата», при помощи которого обосновывается выбор трактора определенного тягового класса с учетом используемых посевных машин. В результате расчетов подтвержден факт нелинейной зависимости производительности посевных агрегатов от установленной мощности трактора. Для заданных условий (дни посева, посевная площадь) производился подбор различных посевных агрегатов и рассчитывались затраты на их эксплуатацию. В результате математического моделирования определены эксплуатационные затраты различных посевных агрегатов в вариантах стандартной и сниженной мощности двигателя трактора. Для оценки удельных эксплуатационных затрат посевного агрегата на обработку единицы площади предложены соответствующий показатель и его графическая интерпретация. Получены зависимости показателя удельных эксплуатационных затрат от мощности тракторного двигателя – при его установленной (номинальной) величине и сниженной до 15 %. В случае соответствия мощности двигателя установленной величине оптимальным посевным машинно-тракторным агрегатом по критерию минимума удельных эксплуатационных затрат является агрегат на базе колесного трактора с двигателем мощностью 125 кВт, что соответствует тяговому классу 2 или 3. Установлено, что снижение мощности двигателя трактора на 15 % от установленной, вследствие изменения его технического состояния, обеспечивает увеличение удельных затрат на посев на 28,4 %.

*Ключевые слова:* посевной агрегат, производительность, экономико-математическая модель, удельные эксплуатационные затраты.

The article presents an analysis of the impact of the performance of machine-tractor units on the duration of technological work in crop production. The results of a survey among specialists of agricultural organizations of the Tomsk region, indicating a significant influence of the technical factor in general on the productivity of machinery (33,9 %), are presented. An interpretation of the survey results is given and, based on these data, a rationale is formulated to create a methodology for optimizing the technological parameters of sowing units. The aim of the work is to develop a methodology for optimizing the technological parameters of sowing units, compiled on the basis of different models of tractors by the criterion of minimum operating costs. The scientific novelty is the introduction of the indicator «unit operating costs of the sowing unit», which explains the choice of a tractor of a certain traction class taking into account the used sowing machines. As a result of the calculations, the fact of a nonlinear dependence of the productivity of the sowing units on the installed tractor power was confirmed. For the given conditions (sowing days, sown area), various sowing units were selected and the costs of their operation were calculated. As a result of mathematical modeling, the operating costs of various sowing units are determined in standard and reduced tractor engine power options. To assess the specific operating costs of the sowing unit for processing a unit area, an appropriate indicator and its graphical interpretation are proposed. The dependences of the indicator of specific operating costs on the power of the tractor engine with its in-stalled (nominal) value and reduced to 15 % are obtained. If the engine power meets the set value, the optimal sowing machine and tractor unit according to the criterion of minimum specific operating costs is the unit based on a wheeled tractor with an engine power of 125 kW, which corresponds to 2 or 3 drawbar category. It was found that a decrease in tractor engine power by 15 % from the installed one, due to a change in its technical condition, provides an increase in unit costs for sowing by 28,4 %.

*Keywords:* sowing unit, productivity, economic-mathematical model, unit operating costs.

## Введение

Выполнение работ в растениеводстве в рамках установленных технологических сроков позволяет надеяться на получение высокой урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур и, как следствие, обеспечить достаточную эффективность производства. Данная проблема особенно актуальна для регионов России, которые находятся в зоне рискованного земледелия, в частности для Урала и Сибири.

Известно [1], что продолжительность выполнения технологических операций в растениеводстве определяется производительностью используемых машинно-тракторных агрегатов:

$$D = \frac{W_{\text{ч}} T_{\text{см}} \tau K_{\Gamma}}{N_{\text{а}}^{\Phi} K_{\text{см}}},$$

где  $D$  – количество дней, затраченных на проведение технологической операции, дни;  $W_{\text{ч}}$  – часовая производительность машинно-тракторного агрегата, га/ч;  $T_{\text{см}}$  – фактическая продолжительность времени смены, ч;  $\tau$  – коэффициент использования времени смены;  $K_{\Gamma}$  – коэффициент готовности;  $N_{\text{а}}^{\Phi}$  – фактическое число однотипных машинно-тракторных агрегатов, задействованных в данной технологической операции, шт.;  $K_{\text{см}}$  – коэффициент сменности.

С целью оценки влияния различных факторов на продолжительность выполнения технологических операций в растениеводстве авторами статьи был проведен опрос руководителей и главных инженеров 14 хозяйств Асиновского и Первомайского районов Томской области.

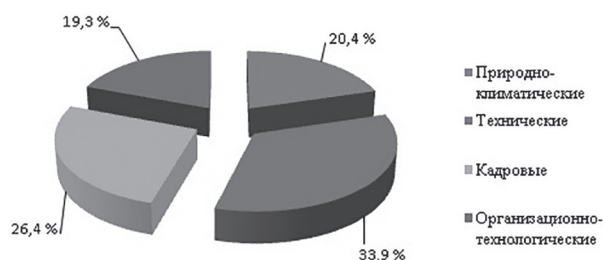
Респондентам было предложено оценить влияние следующих четырех основных факторов на производительность машинно-тракторных агрегатов в растениеводстве:

- природно-климатические;
- организационно-технологические;
- технические;
- кадровые (человеческий фактор).

В данном случае под природно-климатическими факторами подразумевалось влияние непогоды, рельефа местности, характеристик почвы, средней длины гона на поле и т.д. Под организационно-технологическими – организация труда, качество проводимых технологических наладок, а также организация

эксплуатации сельскохозяйственных машинно-тракторных агрегатов и т.д. Технические факторы включали в себя простои и потери производительности вследствие возникновения отказов и неисправностей техники.

По результатам опроса наиболее весомыми (33,9 %) оказались технические факторы (рис. 1), что может быть объяснено достаточно низким уровнем технического сервиса в АПК и возрастным составом используемой техники [2, 9].



**Рис. 1. Влияние исследуемых факторов на показатели производительности сельскохозяйственных машинно-тракторных агрегатов (по результатам опроса специалистов АПК)**

На втором месте оказались кадровые факторы (26,4 %). По мнению авторов, это может быть объяснено тем, что с начала XXI века в России количество людей, работающих в АПК, уменьшилось более чем 2 раза [3]. В результате снизилась общая образованность работников села, а значит, и техническая грамотность.

Организационно-технологические и природно-климатические факторы занимают практически равные доли (19,3 и 20,4 %).

По мнению авторов, управление производительностью машинно-тракторных агрегатов на уровне отдельного хозяйства может быть реализовано посредством влияния на технические и организационно-технологические факторы. Нужно отметить, что влияние на кадровые факторы, безусловно, возможно, но только с учетом исследования глубинных социальных процессов, происходящих сегодня на селе. Еще меньшее влияние можно оказывать на природно-климатические факторы. Например, в Томской области 2018 г. характеризовался проведением работ в условиях чрезвычайной ситуации, вызванной большим количеством осадков и низких температур [4].

### Цель исследований

Разработка методики оптимизации технологических параметров посевных агрегатов, составленных на базе разных моделей тракторов по критерию минимума эксплуатационных затрат.

### Материалы и методы

Детальному рассмотрению подверглись технологические процессы посевной кампании, а именно посев сельскохозяйственных культур. В качестве исходных данных для разработки экономико-математической модели были выбраны технические и технологические параметры отечественных тракторов и посевных машин (табл. 1).

Для разработки экономико-математической модели использовались положения теории производственной эксплуатации сельскохозяйственных машинно-тракторных агрегатов [1].

Методика определения эксплуатационных затрат посевных МТА базировалась на положениях ГОСТ 53056-2008 [5]. Согласно ГОСТу, прямые эксплуатационные затраты денежных средств определяются по формуле:

$$И = З + Г + Р + А + \Phi, \text{ млн руб.},$$

где З – затраты средств на оплату труда обслуживающего персонала, руб.; Г – затраты на горюче-смазочные материалы, руб.; Р – затраты на ремонтно-обслуживающие воздействия, руб.; А – затраты средств на амортизацию, руб.;  $\Phi$  – прочие прямые затраты средств на основные и вспомогательные материалы, руб.

### Результаты и обсуждение

В результате анализа рыночных цен на тракторы и посевные машины были построены графические и получены математические зависимости среднестатистических цен от влияния установленной мощности двигателей и конструкционной ширины захвата, соответственно (рис. 2 и 3).

Полученные зависимости позволили провести математическое моделирование производительности комплектованных посевных агрегатов, состоящих из тракторов, представ-

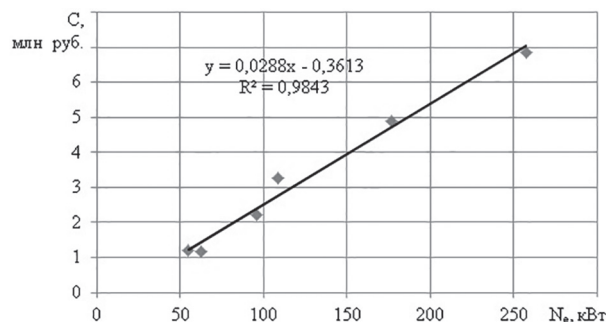


Рис. 2. Зависимость среднестатистической цены колесных тракторов от установленной мощности двигателя

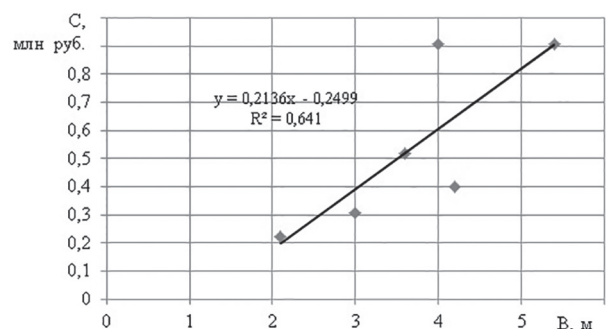


Рис. 3. Зависимость среднестатистической цены посевных машин от конструкционной ширины захвата

ленных в табл. 1 с посевными машинами типа СЗ. Результаты математического моделирования представлены на рис. 4.

Нужно отметить, что полученные зависимости достаточно хорошо согласуются с данными исследований профессора В.Н. Кычева, рассматривавшего в своих работах взаимосвязи темпов роста производительности тяговых МТА с темпами увеличения мощности двигателей тракторов [6].

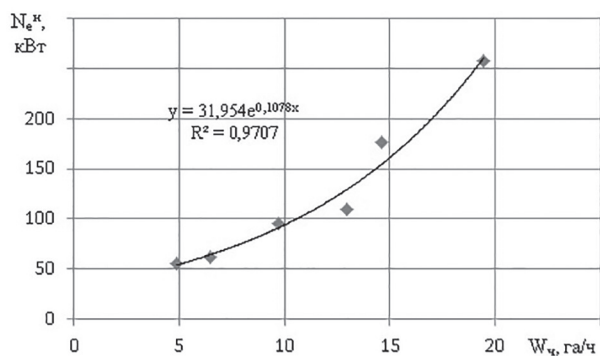
По результатам проведенного математического моделирования был проведен сравнительный анализ эксплуатационных затрат для различных посевных МТА (рис. 5). При проведении моделирования были приняты следующие исходные данные: длительность проведения посева 15 дней, засеваемая площадь 4000 га. Варьируемым параметром выступала величина мощности двигателя трактора.

Таблица 1

Состав машинно-тракторных агрегатов, используемых для посева

Тип машины	Марка машины					
	Тракторы	МТЗ-82	К-744Р2	Агромаш-85ТК	МТЗ-1221	МТЗ-1523
Посевные машины	СЗ-5,4	СЗС-4,2	СКП-2,1	СЗП-3,6	Ника-4	СПУ-ЗД

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА



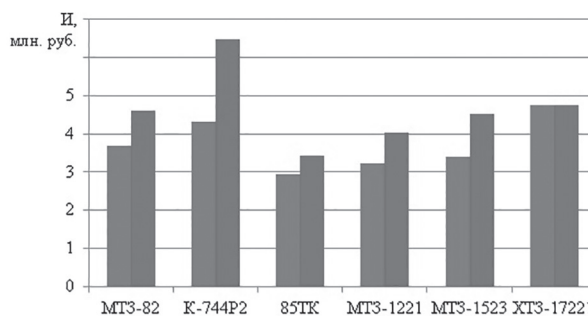
**Рис. 4.** Зависимость часовой производительности посевных агрегатов от установленной мощности двигателей колесных тракторов

Данные исследований, направленных на обеспечение необходимого уровня технического сервиса двигателей тракторов, работающих в сельском хозяйстве, указывают на то, что в подавляющем большинстве случаев (до 85 %) [7–9] величина мощности, установленная нормативно-технической документацией, не соблюдается. Опуская причины данного факта, отметим, что снижение может достигать до 15...20 % от номинальной величины. С учетом этого представлены результаты для двух вариантов моделирования: соответствие мощности двигателя трактора установленной; мощность двигателя снижена до 15 % (рис. 5, табл. 2). Данные о сравнительном увеличении величины прямых эксплуатационных затрат на посевные агрегаты при использовании тракторов со сниженной номинальной мощностью двигателя на 15 % представлены в табл. 2.

Из данных, представленных в табл. 2 и на рис. 5, видно, что наименьшими эксплуатационными затратами обладает посевной агрегат в составе: трактор Агромаш-85ТК с двумя сеялками СЗП-3,6. Примечательно, что при эксплуатации посевного агрегата на базе трактора К-744Р2 со сниженной величиной номинальной мощности резко возрастает величина эксплуатационных затрат (порядка 33 %). В сравнении с посевным агрегатом в составе трактора МТЗ-1523 разница в приросте величины затрат составляет 8,4 %.

**Прирост прямых эксплуатационных затрат при использовании тракторов со сниженной на 15 % номинальной мощностью двигателя**

Посевной агрегат	МТЗ-82 и СЗ-5,4	К-744Р2 и 4 СЗ-5,4	Агромаш-85ТК и 2 СЗ-3,6	МТЗ-1221 и 3 СЗ-3,6	МТЗ-1523 и 4 СЗ-3,6	ХТЗ-17221 и 3 СЗ-5,4
Прирост эксплуатационных затрат, %	19,7	33,3	14,3	20,0	24,9	0,2



**Рис. 5.** Эксплуатационные затраты посевных агрегатов: синим цветом показаны затраты при соответствии номинальной мощности установленной величине; красным – снижение на 15 %

Анализируя представленные данные, можно обосновано сделать вывод о том, что использование посевных агрегатов на базе энергонасыщенных тракторов выше тягового класса 3 со сниженной мощностью становится экономически нецелесообразным. Отметим, что полученные при моделировании данные согласуются с рекомендациями, по применению тракторов, данными в исследованиях ученых Кубанского ГАУ им. И.Т. Трубилина [10].

Для построения обобщенной зависимости прямых эксплуатационных расходов посевных агрегатов произведем расчет удельных прямых эксплуатационных затрат на посев по формуле:

$$Z_{уд} = \frac{I}{F}, \text{ руб./га.}$$

Графическая интерпретация расчета представлена на рис. 6.

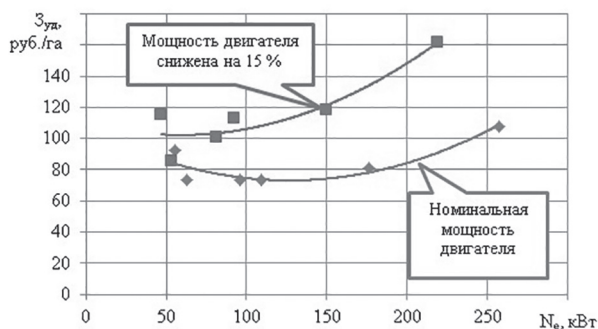
Полученная эмпирическая зависимость при номинальной величине мощности тракторного двигателя описывается полиномом второго порядка вида:

$$Z_{уд} = 106,87 - 0,5316N_e + 2,1 \cdot 10^{-3} N_e^2, \text{ руб./га.}$$

Полученная зависимость при сниженной мощности тракторного дизеля на 15 % описывается полиномом второго порядка вида:

$$Z_{уд} = 110,22 - 0,272N_e + 2,3 \cdot 10^{-3} N_e^2, \text{ руб./га.}$$

Таблица 2



**Рис. 6. Зависимость удельных эксплуатационных затрат посевного агрегата на обработку единицы площади при номинальной мощности тракторного дизеля и сниженной на 15 %**

Анализируя полученные зависимости можно сделать вывод о том, что при соответствующей мощности двигателя трактора установленной величине оптимальным посевным машинно-тракторным агрегатом по критерию минимума удельных эксплуатационных затрат является агрегат с двигателем трактора, имеющего мощность 125 кВт (73,2 руб./га). В случае эксплуатации тракторов со сниженной мощностью двигателя на 15 % оптимальным по критерию минимума эксплуатационных затрат является агрегат с мощностью двигателя трактора 60 кВт (102,2 руб./га). Разница в затратах на обработку единицы площади составляет порядка 28,4 %.

### Выводы

1. В результате экспертного опроса специалистов АПК 14 хозяйств Томской области установлено, что обеспечение требуемой производительности сельскохозяйственной техники значительно связано (более 53 %) с техническим и организационно-технологическим факторами.

2. Предложена методика определения эксплуатационных затрат посевных агрегатов, которая позволила обосновать рациональное применение агрегатов на базе тракторов тягового класса не более 3.

3. Внедрение в методику фактора, учитывающего снижение мощности двигателя трактора вследствие изменения его технического состояния, позволяет обосновать увеличение удельных затрат на посев. Например, снижение мощности двигателя трактора на 15 % от установленной обеспечивает увеличение удельных затрат на посев на 28,4 %.

### Литература

1. Курочкин И.М., Доровских Д.В. Производственно-техническая эксплуатация МТП. Тамбов: ТГТУ, 2012. 200 с.
2. Иванов Н.М., Немцев А.Е., Коротких В.В. и др. Повышение эффективности технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники в условиях Сибири: учебно-методическое пособие; под ред. Н.М. Иванова, А.Е. Немцева. Новосибирск: РАСХН. Сиб. отд.-ние. СибИМЭ, 2012. 108 с.
3. Сельское хозяйство в РСФСР и РФ 1950–2016 гг.: от колхозов к сельхозпредприятиям (часть 2). URL: <http://riskprom.ru/publ/43-1-0-404>
4. Режим ЧС в связи с угрозой срыва посевной кампании ввели семь районов Томской области. URL: <https://tomsk.gov.ru/news/front/view/id/29597>.
5. ГОСТ Р 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2009. 22 с.
6. Кычев В.Н. Повышение производительности машинно-тракторных агрегатов на основе эффективного использования установленной мощности двигателей энергонасыщенных тракторов: автореф. дис. ... докт. техн. наук. 05.20.01. Челябинск 1997.
7. Чемазов М.М. Улучшение показателей работы тракторных дизелей путем совершенствования режима настройки топливных насосов высокого давления при выполнении ремонтно-обслуживающих работ: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01, 05.20.03. Нальчик, 2006.
8. Плаксин А.М. Обоснование периодичности контроля и допуска на снижение мощности двигателей при эксплуатации тракторов в сельском хозяйстве: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 1975.
9. Алушкин Т.Е. Повышение эффективности использования машинно-тракторных агрегатов путем применения топлива с модификатором: дис. ... канд. техн. наук 05.20.01; Томск, 2018. 157 с.
10. Трубилин Е.И., Маслов Г.Г., Перстков В.В. Почему «буксует» машинно-технологическая модернизация сельскохозяйственного производства // Научный журнал КубГАУ. Краснодар, 2017. № 128 (04). С. 1245–1257.

### References

1. Kurochkin I.M., Dorovskih D.V. Proizvodstvenno-tekhnicheskaya ekspluatatsiya MTP [Production and technical operation of the machinery and tractor fleet]. Tambov: TGTU Publ., 2012. 200 p.

2. Ivanov N.M., Nemcev A.E., Korotkih V.V. i dr. Povyshenie effektivnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta sel'skohozyajstvennoj tekhniki v usloviyah Sibiri [Improving the efficiency of maintenance and repair of agricultural machinery in Siberia]. Uchebno-metodicheskoe posobie. Pod red. N.M. Ivanova, A.E. Nemceva. Novosibirsk: RASKHN. Sib. otd-nie. SibIME, 2012. 108 p.
3. Sel'skoe hozyajstvo v RSFSR i RF 1950-2016 gg.: ot kolhozov k sel'hozpredpriyatijam [Agriculture in the RSFSR and the Russian Federation 1950-2016: from collective farms to agricultural enterprises] (CHast' 2) [Elektronnyj resurs]. URL: <http://risk-prom.ru/publ/43-1-0-404>.
4. Rezhim CHS v svyazi s ugrozoy sryva posevnoj kampanii vveli sem' rajonov Tomskoj oblasti [Emergency status due to the threat of disruption of the sowing campaign was announced by seven districts of the Tomsk region] [Elektronnyj resurs]. URL: <https://tomsk.gov.ru/news/front/view/id/29597>
5. GOST R 53056-2008. Agricultural machinery. Economic evaluation methods. Moscow. STANDARTINFORM Publ., 2009. 22 p.
6. Kychev V.N. Povyshenie proizvoditel'nosti mashinno-traktornyh agregatov na osnove effektivnogo ispol'zovaniya ustanovlennoj moshchnosti dvigatelej energonasyshchennyh traktorov: avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk [Improving the performance of machine-tractor units based on the efficient use of the installed power of engines of energy-saturated tractors: Dissertation for Degree of Dr.Eng.]. 05.20.01. CHelyabinsk 1997.
7. CHemazokov M.M. Uluchshenie pokazatelej raboty traktornyh dizelej putem sovershenstvovaniya rezhima nastrojki toplivnyh nasosov vysokogo davleniya pri vypolnenii remontno-obsluzhivayushchih rabot: avto-ref. dis... kand. tekhn. nauk [Improving the performance of tractor diesel engines by improving the tuning mode of high-pressure fuel pumps during repair and maintenance work: Dissertation for Degree of Ph.D. (Engineering)]: 05.20.01, 05.20.03. Nal'chik, 2006.
8. Plaksin A.M. Obosnovanie periodichnosti kontrolya i dopuska na snizhenie moshchnosti dvigatelej pri ekspluatatsii traktorov v sel'skom hozyajstve: avtoref. dis... kand. tekhn. nauk [Substantiation of the frequency of control and tolerance for engine power reduction during tractor operation in agriculture: Dissertation for Degree of Ph.D. (Engineering)]. CHelyabinsk, 1975.
9. Alushkin T.E. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya mashinno-traktornyh agregatov putem primeneniya topliva s modifikatorom: dis. ... kand. tekhn. nauk [Improving the efficiency of the operation of machine-tractor units by using fuel with a modifier: Dissertation for Degree of Ph.D. (Engineering)]. 05.20.01; [Mesto zashchity: Altajskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet im. I.I. Polzunova]. Tomsk, 2018. 157 p.
10. Trubilin E.I., Maslov G.G., Perstkov V.V. Why machine-technological modernization of agricultural production «stalls». Krasnodar, 2017. No 128 (04), pp. 1245–1257 (in Russ.).